

ANALIZA STRAT CIEPŁA DOMU JEDNORODZINNEGO WYKONANEGO W DWÓCH TECHNOLOGIACH

Wanda MOJKOWSKA^a, Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK^{b*}

^astudent, Politechnika Białostocka, Inżynieria Środowiska V rok

^bWydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Tematem artykułu jest analiza całkowitych strat ciepła domu jednorodzinnego wykonanego w dwóch technologiach: domu tradycyjnego i domu pasywnego. Na wstępie przybliżono teorię dotyczącą domów pasywnych. Następnie wyznaczono i porównano współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych, obliczono całkowite straty ciepła generowane przez te budynki. Obliczenia strat zostały wykonane metodą pełną według normy PN-EN 12831 „Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego”. Domy pasywne są szansą minimalizacji zużycia energii.

Słowa kluczowe: budynek pasywny, bilans energetyczny.

1. Wprowadzenie

Rozwój zrównoważony jest to rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje integrowanie działań politycznych, społecznych i gospodarczych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych w celu zagwarantowania możliwości zaspokojenia podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia jak i przyszłych pokoleń (Firląg, 2009a).

Odnosząc pojęcie rozwoju zrównoważonego do sektora budownictwa można stwierdzić, iż wymagania tego rozwoju, jak również stale rosnące ceny energii, stawiają przed współczesnymi inżynierami nowe zadania.

2. Budynek pasywny

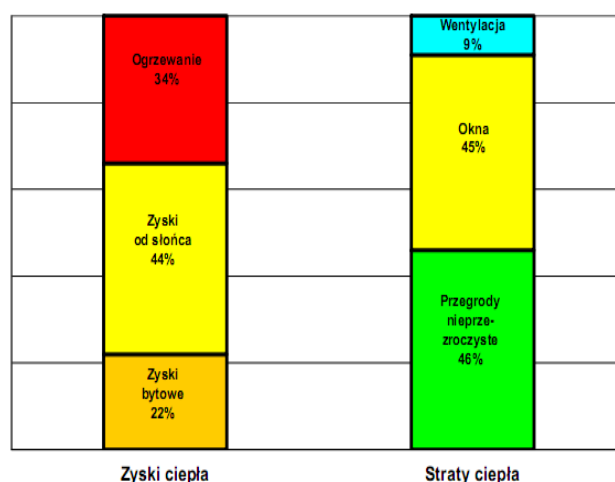
Nie jest to nowatorska, odmienna koncepcja budowlana. Podstawy budownictwa pasywnego opierają się na znanych technologiach budowlanych. Kładą nacisk na poprawienie i zwiększenie izolacyjności przegród zewnętrznych oraz minimalizację strat energii (Firląg, 2009b).

Dom pasywny jest to obiekt o niskim zapotrzebowaniu na energię ciepłą przy zagwarantowaniu bardzo wysokiego komfortu cieplnego. W obiekcie tym aktywne źródła energii zostają zastąpione pasywnymi: czyli

energiami ciepłą wytwarzaną przez pracujące urządzenia, ludzi, ciepło słoneczne i odzysk z wentylacji. Budynek ogrzewa się i ochładza sam - w sposób bierny.

Dzięki maksymalnej redukcji zapotrzebowania na ciepło dom pasywny zużywa około 15 % energii jakiej należy dostarczyć do ogrzania tradycyjnego domu o tej samej kubaturze (Energooszczędne ..., 2008).

W budynkach pasywnych zyski ciepła od słońca stanowią bardzo ważną rolę w bilansie energetycznym. Rysunek 1, sporządzony został przez Idczaka w Instytucie Budynków Pasywnych w Warszawie dla jednorodzinnego



Rys. 1. Bilans energetyczny budynku pasywnego (Idczak, www.ipb.com.pl)

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska @pb.edu.pl

domu pasywnego, w Smolcu koło Wrocławia – 44% sezonowego zapotrzebowania na ciepło zostaje pokryte przez zyski ciepła od promieniowania słonecznego. Aby budynek mógł spełniać stawiane mu wymagania energetyczne, projekt architektoniczny musi gwarantować pozyskiwanie energii z promieniowania słonecznego i jej efektywne wykorzystanie.

Wytyczne dotyczące konstrukcji budynków pasywnych przedstawia tabela 1 (Idczak, www.ipb.com.pl).

Tab.1 Wytyczne dotyczące konstrukcji budynków pasywnych (Idczak, www.ipb.com.pl)

| | |
|---|---|
| Projekt architektoniczny | Otwarta strona południowa ma na celu pozyskanie zysków ciepła od słońca. Zamknięta strona północna i zwarta konstrukcja ograniczają straty ciepła. |
| Doskonała izolacyjność przegród | Wartość współczynnika przenikania ciepła przegród zewnętrznych budynku musi być mniejsza od 0,15 W/m ² K. Eliminacja mostków termicznych. |
| Odpowiednie okna | Wartość współczynnika przenikania ciepła dla okien (szyba plus ramy) ma być <0,8 W/m ² K, a współczynnik g szyby wynosi nie mniej niż 0,5. |
| Szczelność budynku | Niekontrolowana infiltracja powietrza zewnętrznego przez nieszczelności dla różnicy ciśnienia 50 Pa musi wynosić <0,6 kubatury budynku na godzinę. |
| Wentylacja nawiewno – wywiewna z odzyskiem ciepła | Centrala wentylacyjna powinna mieć sprawność odzysku ciepła powyżej 80 % i niskie zużycie energii elektrycznej (<0,45 W/m ³) |
| Gruntowy wymiennik ciepła | Powietrze zewnętrzne doprowadzone do budynku poprzez wymiennik gruntowy, w którym może się ono ogrzać do temperatury powyżej 0°C |
| C.w.u. z odnawialnych źródeł energii | Wykorzystanie kolektorów słonecznych lub pompy ciepła do podgrzewu c.w.u. |
| Zastosowanie energooszczędnych urządzeń | Wysokoefektywne i energooszczędne wyposażenie AGD oraz oświetlenie to elementy budynku pasywnego. |

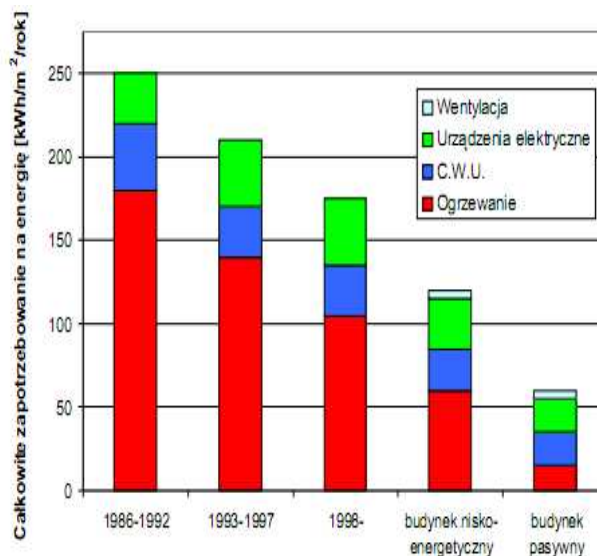
2.1. Bilans energetyczny budynku pasywnego

Bilans energetyczny budynku pasywnego różni się w znacznym stopniu od bilansu współczesnych budynków. Podstawowymi różnicami są (Kucypera i Nowak, 2009):

- Bardzo niskie zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych. Domy pasywne mają zapotrzebowanie nie przekraczające 15 kWh/m²rok, co stanowi siedmiokrotnie mniejsze zapotrzebowanie niż w budynkach nowopowstałych.
- Niewielkie zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych sprawiło, że główną rolę w bilansie cieplnym budynku stanowi zapotrzebowanie na ciepło do celów c.w.u. Średnia wartość tego zapotrzebowania wynosi od 18 do 35 kWh/m²rok.
- Bardzo małe zapotrzebowanie na moc grzewczą. Może ona osiągać maksymalnie 10 W/m². Jest to

jedno z ważniejszych kryteriów, jakie musi spełniać budynek, aby był budynkiem pasywnym. Pozwala to na rezygnację ze standardowego systemu grzewczego, który może być zastąpiony instalacją wentylacyjną.

Porównanie zapotrzebowania na energię przedstawiono na rysunku 2 (Firląg, www.ipb.com.pl).



Rys. 2. Porównanie całkowitego zapotrzebowania na energię dla budynków mieszkalnych (Firląg, www.ipb.com.pl)

2.2. Kształt budynku pasywnego

Straty ciepła budynku są wprost proporcjonalne do powierzchni jego przegród zewnętrznych. Aby budynek osiągał jak najmniejsze straty ciepła należy pamiętać, by współczynnik kształtu A/V (stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do jego kubatury) był jak najmniejszy. Należy unikać skomplikowanych kształtów ścian i dachu.

2.3. Przegrrody zewnętrzne, okna i drzwi

Konstrukcja ścian zewnętrznych budynku powinna być wykonana tak, aby ograniczała straty ciepła. W przypadku domów pasywnych współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych, stropów, podłogi i dachu nie może przekraczać $U \leq 0,15$ W/m²K. Sprowadza się to do stosowania materiałów budowlanych o bardzo niskich wskaźnikach przewodzenia ciepła (λ) oraz do używania materiałów termoizolacyjnych o dużej grubości 30 ÷ 35 cm.

Okna mają duże znaczenie w bilansie energetycznym. Rola okien jest następująca (Idczak i Firląg, 2006):

- ograniczanie strat ciepła przez przenikanie,
- bierne pozyskiwanie zysków ciepła od promieniowania słonecznego,
- dostarczenie odpowiedniej ilości światła dziennego,
- zapewnienie odpowiedniej temperatury okna po stronie wewnętrznej w celu zapewnienia komfortu cieplnego mieszkańcom,
- unikanie kondensacji wilgoci,

- zapewnienie szczelności w celu uniknięcia niekontrolowanej infiltracji.

Wymagania jakie powinny spełniać okna (Czyżewicz i Braumberger, 2009):

- całkowity współczynnik przenikania ciepła dla okna standardowego nie wyższy niż $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- całkowity współczynnik przenikania ciepła dla okna zabudowanego nie wyższy niż $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego (g) powyżej 50 %.

Aby było możliwe osiągnięcie współczynnika przenikania ciepła na poziomie $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, współczynnik przenikania ciepła dla szklenia powinien wynosić $0,6 \div 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, dla ramy $0,7 \div 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, dla mostka termicznego na styku szyba-rama $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wymagania te są znacznie wyższe niż wymagania dla budynków tradycyjnych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008).

Drzwi zewnętrzne mają mniejsze znaczenie w bilansie energetycznym. Powinny mieć niski współczynnik przenikania ciepła (na rynku są drzwi o współczynniku $U = 0,8 \div 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$). Ważny jest również ich prawidłowy montaż. Drzwi wmontowane w ścianę stanowią dodatkowe miejsce mostków termicznych.

3. ANALIZA STRAT CIEPŁA

3.1. Założenia projektowe

Obliczenia wykonano metodą pełną według PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego. Całkowite straty ciepła obliczono dla tego samego domu zaprojektowanego w dwóch technologiach: tradycyjnego i pasywnego. Badanym budynkiem był dom jednorodzinny, parterowy z użytkowym poddaszem w Białymstoku (rys. 3 i 4) przy danych założeniach:

- IV strefa klimatyczna,
- temperatura zewnętrzna – 22°C ,
- średnia roczna temperatura zewnętrzna $6,9^\circ\text{C}$,

Charakterystyka domu (tabela 2):

- powierzchnia: użytkowa $125,1 \text{ m}^2$, netto $172,5 \text{ m}^2$, zabudowy $124,6 \text{ m}^2$,
- kubatura 734 m^3 ,
- wysokość 7,6 m, szerokość 14,2 m, długość 9,4 m,
- kąt nachylenia dachu 45° ,
- wysokość parteru 2,6 m,
- wysokość poddasza 2,7 m.

3.2. Całkowite straty ciepła Q_c [kW]

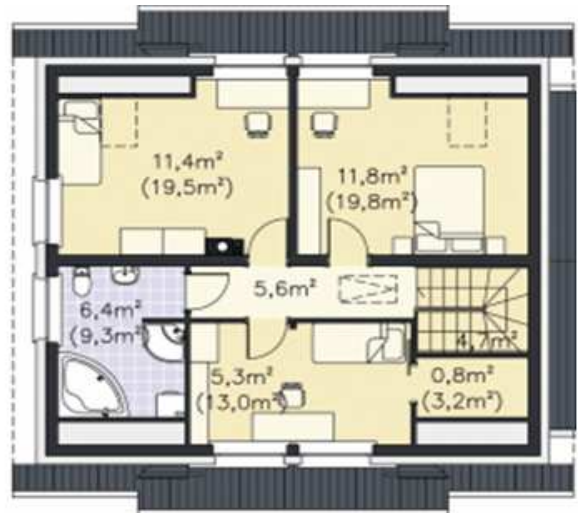
Całkowite straty ciepła określamy z zależności:

$$Q_c = (H_{ve} + H_{T,ig} + H_{T,ie} + H_{T,ij} + H_{T,iue}) \cdot (\theta_{int,i} + \theta_c) \quad (1)$$

gdzie H_{ve} jest to współczynnik wentylacyjnej straty ciepła



Rys. 3. Rzut parteru (na podstawie www.2500.pl/domy/energooszczedne)



Rys. 4. Rzut poddasza (na podstawie www.2500.pl/domy/energooszczedne)

Tab.2. Powierzchnia pomieszczeń

| Nr | Nazwa | Powierzchnia pomieszczenia [m ²] |
|----------|-----------|--|
| Parter | | |
| 1 | P. Pokój | 6,6 |
| 2 | Kuchnia | 14,3 |
| 3 | Salon | 28,2 |
| 4 | Pokój | 11,7 |
| 5 | Łazienka | 4,1 |
| 6 | Schody | 8,5 |
| 7 | Kotłownia | 5,7 |
| Poddasze | | |
| 8 | Pokój | 11,8 |
| 9 | Pokój | 11,4 |
| 10 | Łazienka | 6,4 |
| 11 | Pokój | 5,3 |
| 12 | Garderoba | 0,8 |

Tab.3. Zestawienie całkowitych strat ciepła budynku tradycyjnego

| Nr | Pomieszczenie | H_{ve} | $H_{T,g}$ | $H_{T,ie}$ | $H_{T,ij}$ | $H_{T,iue}$ | ΣH [W/K] | Qc [W] |
|----|---------------|----------|-----------|------------|------------|-------------|------------------|----------|
| | | [W/K] | [W/K] | [W/K] | [W/K] | [W/K] | | |
| 1 | P. Pokój | 4,23 | 0,692 | 8,88 | -1,059 | 4,266 | 17,009 | 714,379 |
| 2 | Kuchnia | 21,66 | 1,184 | 17,746 | -1,841 | 0 | 38,749 | 1627,448 |
| 3 | Salon | 15,86 | 2,601 | 56,72 | -1,052 | 0 | 74,129 | 3113,4 |
| 4 | Pokój | 7,22 | 1,184 | 77,227 | 0 | 0 | 85,631 | 3596,521 |
| 5 | Łazienka | 7,19 | 0,393 | 0 | 4,133 | 0 | 11,715 | 538,905 |
| 6 | Schody | 12,84 | 0,96 | 91,118 | 0 | 13,48 | 118,398 | 4972,706 |
| 7 | Kotłownia | 10,79 | 0,684 | 10,683 | -22,579 | 0 | -0,422 | -12,647 |
| 8 | Pokój | 13,36 | 0 | 186,153 | 0 | 0 | 199,513 | 8379,535 |
| 9 | Pokój | 13,36 | 0 | 186,153 | -1,229 | 0 | 198,284 | 8327,934 |
| 10 | Łazienka | 14 | 0 | 53,861 | 0,41 | 0 | 68,271 | 2867,378 |
| 11 | Pokój | 6,07 | 0 | 32,049 | -1,24 | 0 | 36,878 | 1548,885 |
| 12 | Garderoba | 3,35 | 0 | 75,509 | -2,481 | 0,894 | 77,272 | 3245,429 |

Suma całkowitych strat ciepła $Q_c = 38,92$ [kW]

Tab.4. Zestawienie całkowitych strat ciepła budynku pasywnego

| Nr | Pomieszczenie | H_{ve} | $H_{T,g}$ | $H_{T,ie}$ | $H_{T,ij}$ | $H_{T,iue}$ | ΣH [W/K] | Qc [W] |
|----|---------------|----------|-----------|------------|------------|-------------|------------------|----------|
| | | [W/K] | [W/K] | [W/K] | [W/K] | [W/K] | | |
| 1 | P. Pokój | 4,23 | 0,692 | 6,782 | -1,059 | 4,266 | 14,912 | 626,286 |
| 2 | Kuchnia | 21,66 | 1,184 | 8,101 | -1,702 | 0 | 29,243 | 1228,21 |
| 3 | Salon | 15,86 | 2,601 | 25,047 | -1,052 | 0 | 42,456 | 1783,145 |
| 4 | Pokój | 7,22 | 1,184 | 34,079 | 0 | 0 | 42,484 | 1784,319 |
| 5 | Łazienka | 7,19 | 0,393 | 0 | 4,09 | 0 | 11,673 | 536,962 |
| 6 | Schody | 12,84 | 0,96 | 32,349 | 0 | 13,48 | 59,628 | 2504,385 |
| 7 | Kotłownia | 10,79 | 0,684 | 4,826 | -22,579 | 0 | -6,279 | -188,356 |
| 8 | Pokój | 13,36 | 0 | 66,06 | 0 | 0 | 79,42 | 3335,624 |
| 9 | Pokój | 13,36 | 0 | 66,06 | -1,229 | 0 | 78,191 | 3284,023 |
| 10 | Łazienka | 14 | 0 | 19,841 | 0,41 | 0 | 34,251 | 1438,554 |
| 11 | Pokój | 6,07 | 0 | 11,618 | -1,24 | 0 | 16,448 | 690,809 |
| 12 | Garderoba | 3,35 | 0 | 27,407 | -2,481 | 0,894 | 29,17 | 1225,147 |

Suma całkowitych strat ciepła $Q_c = 18,25$ [kW]

ogrzewanej przestrzeni w W, $H_{T,ig}$ jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do gruntu (g) w warunkach ustalonych wyrażony w W/K, $H_{T,ie}$ jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez obudowę budynku w W/K, $H_{T,ij}$ jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do sąsiedniej przestrzeni (j) ogrzewanej do znacząco różnej temperatury w W/K, $H_{T,iue}$ jest to współczynnik strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez przestrzeń nieogrzewaną (u) w W/K, $\theta_{int,i}$ jest to projektowana temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i) w °C, θ_c jest to projektowana temperatura zewnętrzna w °C.

Straty ciepła w kotłowni w obu przypadkach są ujemne, ponieważ kotłownia ze względu na niższą temperaturę niż pomieszczenia ją otaczające nie traci ciepła tylko zyskuje na drodze przenikania ciepła z pomieszczeń o wyższej temperaturze do pomieszczeń o niższej temperaturze. Zestawienie całkowitych strat ciepła przedstawiono w tabeli 3 i 4.

4. PODSUMOWANIE

Oba domy tradycyjny i pasywny charakteryzują się różnymi współczynnikami przenikania ciepła. W przypadku budynków pasywnych współczynniki te są bardzo rygorystyczne, ich uzyskanie jest możliwe tylko stosując materiały termoizolacyjne, charakteryzujące się niskim wskaźnikiem przewodzenia ciepła (λ). W przeprowadzonych obliczeniach analizowano ten sam budynek, mający tą samą konstrukcję, ten sam współczynnik kształtu, tę samą wielkość i kubaturę. Konstrukcja przegród budynku w obu przypadkach była zaprojektowana w tym samym stylu. Zmianie uległ rodzaj użytego pustaka ceramicznego, w obu przypadkach była to jednak ceramika tej samej firmy oraz rodzaj zastosowanego materiału termoizolacyjnego i jego grubości, w przypadku domu pasywnego musiał to być materiał o bardzo niskim wskaźniku λ . Bardzo znacząca była również grubość warstwy izolacji w domu tradycyjnym 14 cm ($U = 0,21$ W/m²K), w pasywnym 30 cm ($U = 0,09$ W/m²K).

Jeżeli stratę ciepła domu tradycyjnego potraktujemy jako wartość wyjściową 100 %, to straty ciepła budynku pasywnego wynoszą 47%. W przypadku budynku wykonanego w dwóch technologiach, w rozwiązaniu

pasywnym tracimy 53% mniej ciepła niż w budynku tradycyjnym. Mniejsze straty ciepła powodują mniejsze straty energii. Jak widzimy idea domów pasywnych jest doskonałym przykładem minimalizacji zużycia energii. To właśnie budynki pasywne mogą być w przyszłości jednym z podstawowych sposobów oszczędności energii oraz sposobem spełniającym wymagania rozwoju zrównoważonego.

Literatura

- Czyżewicz J., Braumberger M. (2009). Szkło w budownictwie energooszczędnym i pasywnym. *Energia i Budynek*, 10/09. Energooszczędne i komfortowe budownictwo pasywne. *Instalacje*, 1/2008.
- Firląg Sz. Wprowadzenie do budownictwa pasywnego. www.ipb.com.pl
- Firląg Sz. (2009a). Budynki niskoenergetyczne i pasywne w Polsce i krajach Unii Europejskiej. *Energia i Budynek*, 4/09.
- Firląg Sz. (2009b). Technologie pozwalające na uzyskanie poziomu domu pasywnego. *Energia i Budynek*, 02/09.
- Idczak M. „Ogólna koncepcja budynków pasywnych” www.ipb.com.pl
- Idczak M., Firląg Sz. (2006). Okna u budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny. *Świat szkła*, 7-8/2006.

Kucypera M., Nowak H. (2009). Modelowanie energetycznego bilansu domu jednorodzinnego z pasywnym systemem słonecznych zysków bezpośrednich. *Energia i Budynek*, 07-08/2009.

Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. dotyczące warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

ANALYSIS OF THE HEAT LOSSES FOR ONE-FAMILY HOUSE EXECUTED IN TWO TECHNOLOGIES

Abstract: The paper subject is an analysis of heat losses for house executed in two technologies: traditional and passive house. At first theory about passive houses because of their innovative technology was described. Next heat infiltration coefficients for barrier in buildings were appointed and compared, so total heat losses calculation for these houses was possible. The calculations were carried out according to Polish standard PN-EN 12831. Passive houses are a chance for reducing energy consumption.

Pracę wykonano w ramach realizacji zadania statutowego S/WBiIS/23/08 realizowanego w Politechnice Białostockiej